

## **LASER ANNEALING CRYSTALLIZATION IN-SITU ANALYZING APPARATUS**

**Patent number:** JP2002176009 (A)  
**Publication date:** 2002-06-21  
**Inventor(s):** YAMAGUCHI HIROKATSU; OGATA KIYOSHI; TAMURA TAKUO  
**Applicant(s):** HITACHI LTD  
**Classification:**  
**- international:** G01N25/04; G01J5/00; G01N21/64; G01N21/65; H01L21/20; H01L21/268; H01L21/66; G01N25/02; G01J5/00; G01N21/63; G01N21/64; H01L21/02; H01L21/66; (IPC1-7): H01L21/268; G01J5/00; G01N21/64; G01N21/65; G01N25/04; H01L21/20; H01L21/66  
**- european:**  
**Application number:** JP20000376562 20001206  
**Priority number(s):** JP20000376562 20001206

### **Abstract of JP 2002176009 (A)**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enable measuring of an observation image or a Raman spectrum of a film infinitesimal part in-situ in a laser annealing crystallizing step of an amorphous film. **SOLUTION:** A laser annealing crystallization in-situ analyzing apparatus perforates a hole at an object, applies an excimer laser beam through the hole to the film, simultaneously guides a reflected light or a Raman light to a spectroscope, a detector via the objective, and observes a sample state.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-176009

(P2002-176009A)

(43) 公開日 平成14年6月21日 (2002.6.21)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
H 0 1 L 21/268		H 0 1 L 21/268	T 2 G 0 4 0
G 0 1 J 5/00		G 0 1 J 5/00	A 2 G 0 4 3
G 0 1 N 21/64		G 0 1 N 21/64	Z 2 G 0 6 6
21/65		21/65	4 M 1 0 6
25/04		25/04	B 5 F 0 5 2
審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 8 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-376562(P2000-376562)

(22) 出願日 平成12年12月6日(2000.12.6)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 山口 裕功

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 尾形 潔

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

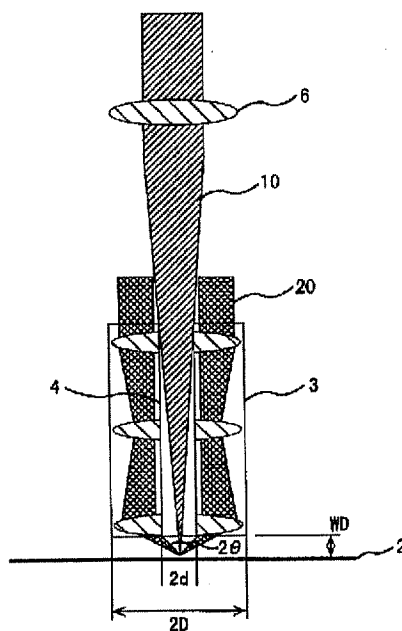
(54) 【発明の名称】 レーザアニール結晶化 *in-situ* 解析装置

(57) 【要約】

【課題】 非晶質膜のレーザアニール結晶化過程において膜微小部の観察像やラマンスペクトルを *in-situ* に測定可能にする。

【解決手段】 対物レンズに穴を穿ち、穴を通してエキシマレーザ光を膜に照射すると同時に、この対物レンズにより反射光またはラマン光を分光器、検出器に導き、試料状態を観測する。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料基板上の非晶質薄膜にパルスレーザー光を照射して結晶化を行う照射手段と、該パルスレーザー光の照射からある定めた時間間隔を置いて該試料の表面状態を光プローブにより観測する手段とを備えた成膜装置において、該試料から該光プローブに光を入射させる手段である対物レンズは貫通穴を設けたものとして成り、上記パルスレーザー光は該貫通穴を通して該試料に照射される構成として成ることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項2】 上記パルスレーザー光は、エキシマレーザー光であることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項3】 請求項1記載の光プローブは、反射率計、ラマン分光光度計または蛍光分光光度計であることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項4】 請求項3記載の反射率計、ラマン分光光度計または蛍光分光光度計は、励起光源として請求項1記載のパルスレーザー光を用いることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項5】 請求項3記載の反射率計、ラマン分光光度計または蛍光分光光度計は、励起光源として請求項1記載のパルスレーザー光とは別の光を上記穴から試料に照射したものを用いることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項6】 請求項3記載の反射率計、ラマン分光光度計または蛍光分光光度計は、励起光源として請求項1記載のパルスレーザー光とは別の光を上記対物レンズにより試料に集光照射したものを用いることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項7】 請求項5及び6記載の別の光は、パルスレーザー光であり、請求項1記載のパルスレーザー光の照射から所定の遅延時間の後に照射することを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項8】 請求項1記載の光プローブは、放射温度計であることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項9】 請求項1記載の光プローブは、赤外分光光度計であることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項10】 上記各請求項記載の光プローブからの光信号を、上記パルスレーザー光の照射時刻を基準とする時間軸に対応して記録することを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項11】 上記各請求項記載の光プローブは、1次元または2次元アレイセンサを備え、上記試料の像またはラマン、蛍光、赤外吸収スペクトルが該アレイセンサに転送されるような構成として成り、上記パルスレーザー光の照射から所定の遅延時間の後、所定の時間幅だけ

の光信号を取り込むようゲートをかけることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項12】 上記各請求項記載の光プローブは、ストリークカメラを備え、上記試料の像またはラマン、蛍光、赤外吸収スペクトルがストリークカメラに転送されるような構成として成り、該ストリークカメラからの時間軸の基準を上記パルスレーザー光の照射時刻とすることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

10 【請求項13】 上記対物レンズは、開口数が0.45以上であることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項14】 請求項4記載のラマン分光光度計は、アモルファスシリコン、単結晶シリコン及び多結晶シリコンのラマン信号を識別して検出する構成として成ることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

【請求項15】 請求項4記載のラマン分光光度計は、シリコンの応力を測定する構成として成ることを特徴とするレーザーアニール結晶化 *in-situ* 解析装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】近年各種半導体素子における、結晶シリコン等の薄膜の形成プロセスとして、非晶質薄膜にエキシマレーザー等を照射してアニールする方法が多く用いられている。本プロセスにおいて作成された膜の導電率等の特性は、結晶の粒径や方位などに依存する。そのため特性を向上させるには、アニール条件と結晶の状態との相関を知ることが重要である。またエキシマレーザーのパルス幅はnsのオーダーであるため、アニールによる結晶の生成過程をレーザーの照射と同期して *in-situ* に追跡することが重要である。

【0002】結晶粒径は試料表面の顕微鏡像を観察することで、結晶方位は種々の偏光方向について測定したラマン強度から求めることができる。また、アニール中に表面が固体であるか液体であるかは反射率から、温度はストークスラマン光と反ストークスラマン光との強度比から求めることができる。

【0003】本発明はレーザーアニールにともなうこれらの状態の変化を *in-situ* に追跡する手段を提供するものであり、ひいては膜特性の向上に寄与するものである。

## 【0004】

【従来の技術】エキシマレーザーによる半導体薄膜の結晶化過程をモニタする手法として、A. Compaan "Time Resolved Raman Studies of Laser-excited Semiconductor" (NATO ASI Series, E, Applied Sciences, '83: No. 6)に記載のものがある。

【0005】これはアニール用のYAGレーザー光とラマン光励起用の色素レーザー光とを互いに異なる角度で試料

に入射し、さらに別の角度でラマン光を取り出して測定するものである。このラマン光のうちのストークス光と反ストークス光との強度比から、アニール時の試料の温度を求めるものである。

【0006】また、他の手法として、「シグマ光機総合カタログ6-A」のA-31ページに記載のエキシマレーザ用光学系がある。これはエキシマレーザを結像レンズを用いて試料上に照射するとともに、同じ結像レンズを用いて試料をCCDカメラで観察するものである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記第1の公知例では、アニール用レーザ光の照射光学系、ラマン光測定用レーザ光の照射光学系、及びラマン光の検出光学系は互いに試料に対して異なる角度で配置されている。この光学配置では各光学系の対物レンズの開口数を大きくできない。このため、光学系の回折限界が大きくなり、高い位置分解能を得ることができない。例えばマイクロメータサイズの結晶粒の状態を観測しようとする、分解能が足りない。

【0008】もちろん、アニール後に試料を顕微鏡下に移動して、表面の状態を観察したり、ラマンスペクトルを得ることは可能であるが、これではnsオーダーのパルス幅で照射されるエキシマレーザによるアニール過程の試料状態をin-situに観測することはできない。

【0009】また、上記第2の公知例のように、エキシマ

$$L = 0.61\lambda / NA$$

$\lambda$ は波長、NAはレンズの開口数を表す。NAは次式(数2)で与えられる。

$$NA = n \sin \theta$$

$n$ は対物レンズから試料までの空間を満たす媒質(通常は空気)の屈折率、 $2\theta$ は試料から見た対物レンズ瞳のなす角である。

【0015】 $\lambda$ を可視光の最も長波長側である700nmとしたとき、NAの種々の値に対するLの値は次のようになる。

【0016】

NA=0.3のとき L=1.4  $\mu$ m

NA=0.4のとき L=1.1  $\mu$ m

NA=0.5のとき L=0.9  $\mu$ m

NA=0.6のとき L=0.7  $\mu$ m

NA=0.7のとき L=0.6  $\mu$ m

NA=0.8のとき L=0.5  $\mu$ m

NA=0.9のとき L=0.5  $\mu$ m

$$2D = WD / NA \times 2 = 3\text{mm} / 0.8 \times 2 = 7.5\text{mm} \quad (\text{数3})$$

である。これに、径2dが1~2mmの貫通穴4を穿っても、これは瞳の径2Dと比べて小さく、結像性能にはそれほど大きな影響を与えない。また、アニール用のエキシマレーザ光10は通常広い照射面積を均一に照射することが重要である。このため、レーザスポット径を小さく絞る必要はなく、エキシマレーザ用の集光レンズ6

\* マレーザ照射光学系と試料観察光学系とでレンズを共用する方式では、光学部品の配置や結像性能の関係で、実際の生産工程の中に本光学系を組み込むことが難しい。

【0010】本発明の目的は、試料をレーザアニールする過程を光学的にin-situ観測する手段を与え、かつ実際の生産工程に本光学系を組み込み可能にすることにある。例えば、アニール過程における試料表面の反射率、ラマンスペクトル、蛍光スペクトル、赤外吸収スペクトルや放射等の測定を目的としている。

10 【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明では、対物レンズに貫通穴を穿った。アニール用のレーザ光はこの穴を通して試料に照射される。また、反射光、ラマン光、蛍光、放射はこの対物レンズにより分光器、検出器に導かれる。

【0012】本発明の作用を図1により説明する。2は非晶質薄膜、3は対物レンズ、4は貫通穴、6は集光レンズ、10はエキシマレーザ光、20は反射光またはラマン光、2Dは瞳径、 $2\theta$ は瞳のなす角、2dは貫通穴径、WDは作動距離である。対物レンズの回折限界Lは一般に知られているように、次式(数1)により与えられる。

【0013】

【数1】

(数1)

\* 【0014】

※ 【数2】

(数2)

30★これから、1  $\mu$ mの分解能を得るためにはNAが0.45以上、0.5  $\mu$ mの分解能を得るためには0.8以上の対物レンズを用いなければならないことがわかる。一般に市販されている対物レンズで、倍率が50倍、NAが0.8の対物レンズは、作動距離WDが3mm程度である。また、瞳のなす角 $2\theta$ は106°である。したがって、対物レンズ3をよけて非晶質薄膜2にエキシマレーザ光を照射しようとする、入射角が大きくなり、実際の生産工程とは異なる照射条件となってしまう。

【0017】本発明では、対物レンズ3に貫通穴4を穿っている。上記の対物レンズ3において、瞳径2Dは

40 【0018】

【数3】

のNAは小さくてもかまわない。したがって、この集光レンズ6と非晶質薄膜2との間隔は大きくても良く、上記貫通穴4を通してエキシマレーザ光10を照射するような光学系にしても問題はない。

【0019】なお、図1の対物レンズでは貫通穴4の径は1~2mmであるが、エキシマレーザ光10の径をさ

らに大きくしたい場合は、瞳孔 2D と作動距離 WD との比率を変えずに、全体のサイズを大きくすれば、結像性能は同じに保つことができる。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】（実施例 1）以下本発明の実施の形態を図 2 により説明する。本実施例はエキシマレーザ光で試料をアニールする過程の試料表面の可視光による像を *in-situ* 観察するものである。1 は基板、2 は非晶質薄膜、3 は対物レンズ、4 は貫通穴、5 は穴明き鏡、6 は集光レンズ、7 はビームホモジナイザ、8 はビームエクspanda、9 はエキシマレーザ、10 はエキシマレーザ光、11 は結像レンズ、12 は半透明鏡、13 は空間フィルタ、14 は照明光源、15 はイメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ、16 はゲートパルス発生器である。

【0021】エキシマレーザ 9 から出た光は、ビームエクspanda 8 及びビームホモジナイザ 7 により均一な強度分布をもつビームとなる。集光レンズ 6 によりこれは集束ビームとなり、穴明き鏡 5 の穴と対物レンズ 3 の貫通穴 4 を通過して、非晶質薄膜 2 に集光照射される。これにより試料の結晶化を行う。

【0022】一方、照明光 14 は空間フィルタ 13 により、中心部が遮蔽されたのち、半透明鏡 12 により結像レンズ 11 に入射し、平行光となる。これは、穴明き鏡 5 で反射された後、対物レンズ 3 により、非晶質薄膜 2 に照射される。試料からの反射光は上記光路を逆行し、半透明鏡 12 を透過して、イメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ 15 に入射する。対物レンズ 3 は作用で述べたものと同じ NA が 0.8 のものであり、0.5  $\mu$ m の空間分解能を有する。

【0023】ゲートパルス発生器 16 はエキシマレーザ 9 とイメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ 15 とにゲートパルスを送る。エキシマレーザ 9 のゲート時刻からイメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ 15 のゲート時刻までの遅延時間を種々に設定することにより、レーザアニール結晶化過程の種々の段階における試料の表面状態を観察することが可能である。

【0024】また、イメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ 15 の代りにストリークカメラを用いることも可能である。ストリークカメラのゲート信号はゲートパルス発生器 16 から送る。これにより、得られる反射率の例を図 3 に示す。横軸 *t* は時刻で、エキシマレーザ 9 の照射時刻を 0 としている。縦軸 *I* は強度である。1、12、13 は試料上の 3 つの位置における反射光強度をあらわす。反射光強度の弱いところは液化した状態を、強いところは固化した状態を表す。これから、試料上の各点における液相から固相への遷移状況を知ることができる。

【0025】このように本発明によれば、アニール用のレーザ光学系に制限を受けることなく、ns オーダのレ

ーザアニール過程における試料上の 0.5  $\mu$ m 程度の領域の反射率を、*in-situ* に測定することが可能である。

【0026】（実施例 2）以下図 4 を用いて、実施例 2 に付いて説明する。本実施例は、レーザアニール過程におけるラマンスペクトルを *in-situ* 観察するものである。1 は基板、2 は非晶質薄膜、3 は対物レンズ、4 は貫通穴、5 は穴明き鏡、6 は集光レンズ、7 はビームホモジナイザ、8 はビームエクspanda、9 はエキシマレーザ、10 はエキシマレーザ光、11 は結像レンズ、12 は半透明鏡、13 は空間フィルタ、24 は YAG レーザ、25 は分光器、15 はイメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ、16 はゲートパルス発生器である。

【0027】本実施例における、エキシマレーザアニールの光学系は実施例 1 と同じである。

【0028】ラマン光の励起にはパルス発振する YAG レーザ 24 を用い、ラマンスペクトルを得るために分光器 25 を用いる。ラマン光の励起用にパルスレーザを用いることは、強度の弱いラマン光をアニール時間内に集中的に測定するのに有効な方法である。エキシマレーザ 9、YAG レーザ 24、イメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ 15 の動作タイミングはともにゲートパルス発生器 16 により制御される。パルス発振する YAG レーザ 24 と、イメージインテンシファイヤ付 CCD カメラとを、エキシマレーザ 9 の発光から同一の遅延時間後動作させることにより、エキシマレーザアニールの種々の段階における試料のラマンスペクトルを取得することができる。

【0029】ところで、YAG レーザ 24 のパルス幅は通常は可変でないが、イメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ 15 のゲート幅は可変である。従って、このゲート幅の設定次第で測定の時間分解能を自由に設定できる。

【0030】本実施例中の、分光器 25 としてイメージングスペクトログラフを用いれば、イメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ 15 上で試料上の複数箇所のラマンスペクトルを同時に取得することも可能である。

【0031】また、実施例 1 で述べたように、イメージインテンシファイヤ付 CCD カメラ 15 の代りにストリークカメラを用いれば、エキシマレーザ光照射を基準とする時刻とラマン光強度との関係を一度の測定で取得することが可能である。

【0032】また図 1 のレンズ系 6 を半導体装置の生産設備で用いられている光学系に置き換えることも可能である。すなわち、半導体装置生産設備のエキシマレーザ照射光学系の中に穴明き鏡 5 と対物レンズ 3 とを挿入し、レーザアニール中の膜の状態をラマン分光により把握することもできる。これにより、アニール工程の管理を行うことが可能である。

【0033】ここで、アモルファスシリコン、結晶シリコンのラマン光の波数はそれぞれ480及び520 $\text{cm}^{-1}$ である。したがって、分光器25としてこの両者を分離して測定可能な分解能をもつものを用いれば、アニールによる結晶化の程度を観測することが可能である。また、さらに高分解能で、0.1~0.2 $\text{cm}^{-1}$ の分解能を有する分光器を用いれば、試料の応力を測定することも可能である。

【0034】本実施例と同じ構成で、分光器25の分解能や波長を変えることにより、試料の蛍光スペクトルや赤外吸収スペクトル、放射スペクトル等を測定することも可能である。これらのデータからアニール中の試料の温度を求めることも可能である。

【0035】このように本発明によれば、アニール用のレーザ光学系に制限を受けることなく、nsオーダーのレーザアニール過程における試料上のマイクロメータ領域のラマンスペクトル、蛍光スペクトル、赤外吸収スペクトル、放射等を、*in-situ*に測定することが可能である。

【0036】(実施例3)以下、図5を用いて実施例3を説明する。本実施例は実施例1を試料上の1点測定に特化したもので、実施例1のイメージインテンシファイヤ付CCDカメラ15をフォトマルチプライヤ35に入れ替えたものである。これからの光強度信号をオシロスコープ36に入力する。また、オシロスコープの時間軸のスタート信号はゲートパルス発生器16から供給する。これにより、エキシマレーザ照射時刻を基準とする試料の反射率の変化を追跡することが可能である。

【0037】このように本発明によれば、アニール用のレーザ光学系に制限を受けることなく、nsオーダーのレーザアニール過程における試料上のマイクロメータ領域の反射率を、*in-situ*に測定することが可能である。

【0038】(実施例4)以下、図6を用いて実施例4を説明する。本実施例は実施例1の照明光源14を対物レンズ3の貫通穴4から試料に照明するようにしたものである。これは暗視野照明による像をイメージインテンシファイヤ付CCDカメラ15で取り込むことをねらったものである。また、照明光源14をパルス発振するY

AGレーザ光源に置き換えることで、ラマンスペクトルの測定にも対応できる。

【0039】本実施例でも、アニール用のレーザ光学系に制限を受けることなく、nsオーダーのレーザアニール過程における試料上のマイクロメータ領域の反射率を、*in-situ*に測定できることは、上記各実施例同様である。

【0040】(実施例5)以下、図7を用いて実施例5を説明する。本実施例は照明光源を用いず、エキシマレーザ光9の反射光をイメージインテンシファイヤ付CCDカメラ15で取り込むようにしたものである。

【0041】本実施例でも、アニール用のレーザ光学系に制限を受けることなく、nsオーダーのレーザアニール過程における試料上のマイクロメータ領域の反射率を、*in-situ*に測定できることは、上記各実施例同様である。

【0042】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、レーザアニール中の膜の状態をラマンスペクトルを用いて観測するにあたり、高い検出効率でラマン光を測定でき、短時間で測定が可能である。またレーザ光の1回1回の照射毎の状態を分離して捉えることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】作用の説明図。

【図2】実施例1の装置構成図。

【図3】実施例1の測定データ例を示す図。

【図4】実施例2の装置構成図。

【図5】実施例3の装置構成図。

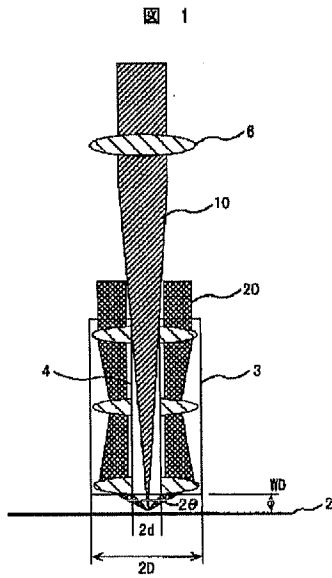
【図6】実施例4の装置構成図。

【図7】実施例5の装置構成図。

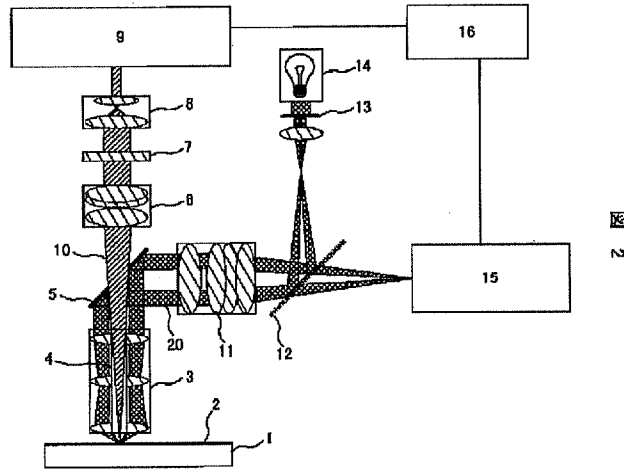
【符号の説明】

1…基板、2…非晶質薄膜、3…対物レンズ、4…貫通穴、5…穴明き鏡、6…集光レンズ、7…ビームホモジナイザ、8…ビームエキスパンダ、9…エキシマレーザ、10…エキシマレーザ光、11…結像レンズ、12…半透明鏡、13…空間フィルタ、14…照明光源、15…イメージインテンシファイヤ付きCCD検出器、16…ゲートパルス発生器、24…YAGレーザ、25…分光器、35…フォトマルチプライヤ、36…TDC。

【図1】

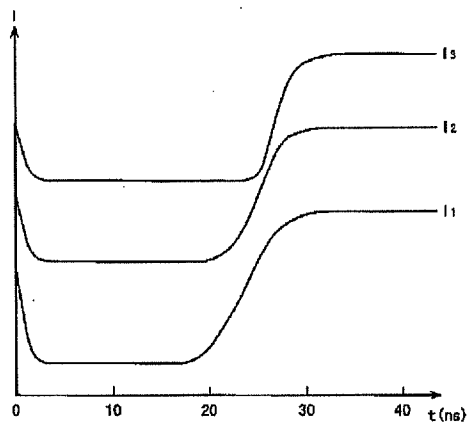


【図2】

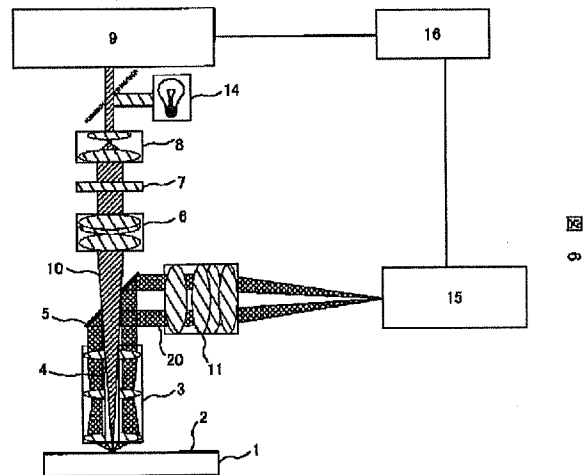


【図3】

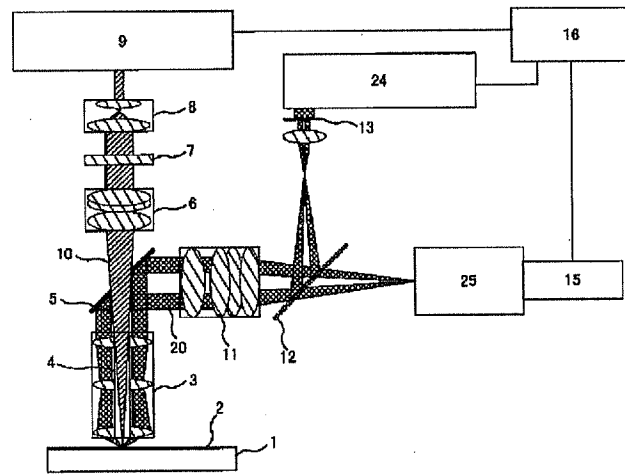
図 3



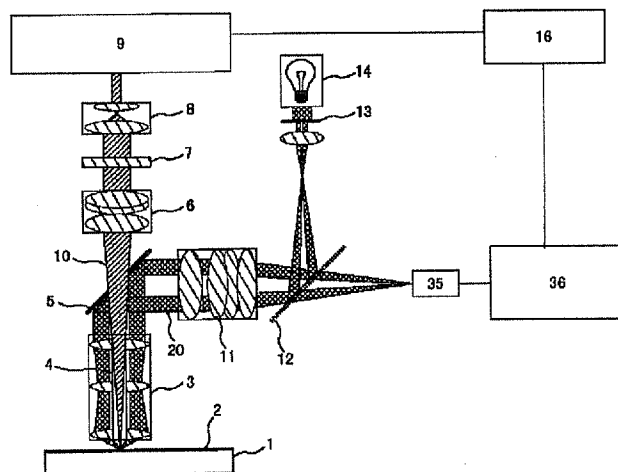
【図6】



【図4】

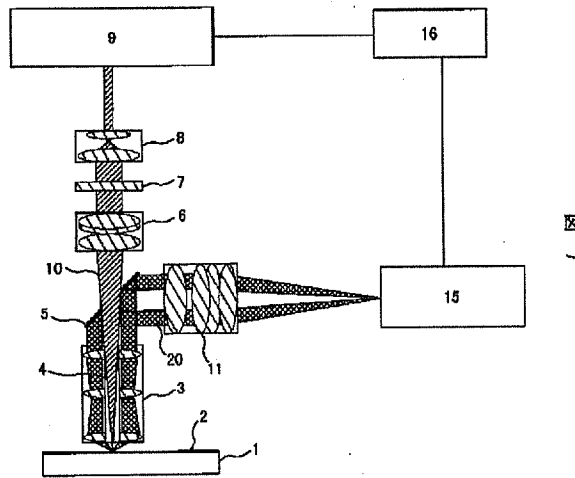
図  
4

【図5】

図  
5



【図7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>H 0 1 L 21/20  
21/66

識別記号

F I

H 0 1 L 21/20  
21/66

タームコード(参考)

N

(72)発明者 田村 太久夫

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株  
式会社日立製作所生産技術研究所内

Fターム(参考)

2G040 AB02 BA26 CA02 CA12 CA23  
DA05 EB02  
2G043 AA03 BA07 CA07 DA01 EA01  
EA03 EA14 GA08 GB21 HA01  
HA02 HA09 KA08 KA09 LA03  
NA01  
2G066 AA01 AC20 BA22 CA11  
4M106 AA01 AA10 BA05 CA21 CB17  
CB30 DH01 DH12 DH32 DH38  
DH39 DH60  
5F052 AA02 BB03 BB07 CA10 DA02